



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión sistemática del uso de los residuos orgánicos bio-  
adsorbentes para la remoción de metales pesados en aguas  
residuales urbanas**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Córdova Llacsahuache, Rocsy Jhudid (ORCID: 0000-0001-8425-7222)

Torres Odar, Danny Yair (ORCID: 0000-0002-0679-0096)

**ASESOR:**

Mgtr. Garzón Flores Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los recursos naturales

**CHICLAYO — PERÚ**

**2020**

### **Dedicatoria**

Esta tesis la dedicamos principalmente a nuestros padres por su confianza y amor incondicional, a nuestros hermanos y amigos que nos han incentivado y motivado para no decaer y culminar con éxitos nuestro proyecto de investigación.

***Rocsy Jhudid y Danny Yair***

### **Agradecimiento**

Agradecemos en primera instancia a Dios por su infinito amor y bondad de permitirnos culminar con éxito nuestra tesis, del mismo modo agradecemos a nuestra familia por su apoyo económico y moral que nos incentivaron a seguir adelante, también agradecemos a nuestra plana de docentes que nos brindaron sus conocimientos para forjarnos como personas profesionales de bien.

***Rocsy Jhudid y Danny Yair***

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	8
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	9
3.3. Escenario de estudio.....	10
3.4. Participantes .....	10
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	10
3.6. Procedimiento .....	12
3.7. Rigor científico.....	14
3.8. Método de análisis de información .....	14
3.9. Aspectos éticos .....	14
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Matriz de categorización apriorística.....	9
<b>Tabla 2.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes de metales pesados .....	16
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de artículos de metales pesados tratados por el método de la adsorción.....	23
<b>Tabla 4.</b> Cantidad de artículos clasificados según la técnica de absorción. ....	24
<b>Tabla 5.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal plomo.....	25
<b>Tabla 6.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal cadmio .....	33
<b>Tabla 7.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal cromo .....	38
<b>Tabla 8.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal cobre .....	40
<b>Tabla 9.</b> Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal níquel.....	41

## Índice de figuras

<i>Figura 01:</i> Flujograma de procedimientos .....	13
<i>Figura 02:</i> Cantidad de artículos de metales plomo, cadmio, cromo, cobre y níquel .....	23
<i>Figura 3:</i> Representación gráfica de los sistemas continuo y discontinuo. ....	25
<i>Figura 4:</i> Artículos del porcentaje de remoción .....	27
<i>Figura 5:</i> Artículos según el tiempo de equilibrio de adsorción.....	29
<i>Figura 6:</i> Datos recolectados de diferentes artículos sobre el tamaño de la adsorbente .....	30
<i>Figura 7:</i> pH que influyen en el proceso de adsorción de metales pesados.....	31
<i>Figura 8:</i> Artículos seleccionado según el Porcentaje de remoción de cadmio ....	34
<i>Figura 9:</i> Artículos según el tiempo de equilibrio de adsorción.....	35
<i>Figura 10:</i> Datos recolectados de diferentes artículos sobre el tamaño del adsorbente .....	36
<i>Figura 11:</i> Datos de pH de metal cadmio .....	37

## Resumen

El objetivo principal de nuestra investigación fue determinar la eficiencia de los residuos orgánicos bioadsorbentes para la remoción de metales pesados en aguas residuales urbanas a través de una revisión sistemática. Nuestro tipo de investigación fue cualitativa - aplicada y diseño metodológico narrativo de tópicos.

Los resultados de la investigación fueron, 62.5% artículos de residuos adsorbentes de metales superando 90% de remoción, demostraron efectividad para tratar este tipo de aguas residuales, se obtuvo para plomo, 14 de 25 artículos ((*Saccharum officinarum* (Bagazo de caña), *Zea mays* (paja de maíz), *Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), para cadmio 7 de 6 (*Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Leucaena leucocephala* (Guaje), para cromo (*Cupressus lusitanica* (Corteza de ciprés) y *Coffee arabica* (borra de café), para cobre ( *Oryza sativa* (Pajilla de arroz) y *Pinus sylvestris* (Corteza de pino), para níquel (*Dioscorea alata* (cáscara ñame) y *Elaeis guineensis* (bagazo de palma)) indicaron que los residuos frutales son más afines al adherirse a los metales. Concluyendo, los residuos contienen propiedades químicas en su estructura vegetal como carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, debido a sus altos contenidos en celulosa, hemicelulosa y lignina, así mismo, los grupos funcionales que posibilitan la captación de metales.

**Palabras claves:** Adsorción, metales pesados, biomasa, residuos vegetales

## Abstract

The main objective of our research was to determine the efficiency of bioadsorbent organic waste for the removal of heavy metals in urban wastewater through a systematic review. Our type of research was qualitative, applied, and topic-narrative methodological design.

The results of the investigation were, 62.5% articles of metal adsorbent residues exceeded 90% removal, demonstrating their effectiveness to treat this type of wastewater, it was obtained for lead, 14 of 25 articles ((*Saccharum officinarum* (Bagasse of cane ), *Zea mays* (corn straw), *Citrus sinensis* (Orange peel), for cadmium 7 of 6 (*Citrus sinensis* (Orange peel), *Opuntia ficus-indica* (prickly pear), *Leucaena leucocephala* (Guaje), for chromium (*Cupressus lusitanica* (Cypress bark) and *Coffee arabica* (coffee grounds), for copper (*Oryza sativa* (Rice straw) and *Pinus sylvestris* (Pine bark), for nickel (*Dioscorea alata* (yam shell) and *Elaeis guineensis* (palm bagasse) ) indicating the fruit residues more related to adhere to metals, concluding that these residues contain chemical properties in their plant structure such as carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen, due to their high content of cellulose, hemicellulose and lignin. Functional elements that make it possible to capture metals.

**Keywords:** Adsorption, heavy metals, biomass, plant residues



## **I. INTRODUCCIÓN**

Con el rápido crecimiento poblacional, el nivel de la población mundial podría alcanzar los 1000 millones de personas al año 2050. (The World Bank, 2018). Debido a esta situación se consideró en este estudio realizar una revisión sistemática orientada a comparar la efectividad de residuos orgánicos (generados por la población) bio-adsorbentes de metales pesados que afecta las aguas y en sus diferentes actividades, de acuerdo a este tema existe un asaz de información en internet, base de datos de artículos, tesis que muestran variedades de métodos para la purificación de estas aguas contaminadas, pero no se ha encontrado una solución puntual. Para Moreno et al. (2018) señala que las revisiones sistemáticas son recopilaciones de la información dispuesta a contestar una pregunta específica (p.43). Es por esto que se simplifico la información expuesta en muchos artículos que investigan lo mismo, a través de una revisión sistemática.

Para que los investigadores llegaran a realizar este tipo de estudio tuvieron que evidenciar las problemáticas. Chávez y Alejandra (2016) argumentaron que tienen que producir más alimento para proveer a los habitantes, pero por esta razón se originan grandes sumas de desechos que son desaprovechados por completo (p.101). Así también, Martín et al (2018) manifiesta que puesto que si no se consigna un buen manejo para considerables cantidades de residuos que originan impactos ambientales significativos que implica la insostenibilidad de los recursos naturales (p.12).

Po otro lado Tanana (2009) manifiesta que el principal afectado es el mismo hombre que arroja sus desechos que genera en casa, así mismo, industriales, agroindustriales y agrícolas sin ningún tratamiento en los cuerpos de agua, siendo un tema de gran relevancia (p.2). Uno de los metales que se encuentran en dichos cuerpos de agua es el plomo, este también se encuentra dispersado en el ambiente, en forma natural y por su uso en las industrias. Durante 1970 y 2000, el uso de plomo incrementó más de 1000 veces gracias a la gasolina que se empleó en todo el mundo en las actividades humanas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades - ATSDR 2007, p.2).

Así mismo Mattalloni et al. (2014) afirmó que el metal plomo no es imprescindible para la humanidad a pesar de ello se detecta en el ambiente. Este peligroso tóxico dura mucho y no se degrada cuando es expuesto continuamente al ambiente. Este material tóxico se encuentra en las industrias, arrojando materiales como: Baterías, cañerías antiguas de agua, pinturas, productos de belleza, útiles escolares, utensilios de cerámica y loza vidriada, son unos de los muchos materiales que se emplea el plomo (p. 2).

Ante esto Guzmán (2013) en su artículo señaló que la presencia de metales pesados también afecta al crecimiento en las especies vegetativas, y que el proceso por donde ingresan los metales en la planta de maíz se produce vía simplástica por la raíz, después se desplaza al tallo hasta llegar a la hoja. Otros autores como Malkowski et al. (2005) coincidieron que el órgano principal donde se siembra el plomo es en la raíz (p. 207).

Nuestro trabajo de investigación se justificó tomando en cuenta el aspecto social, tecnológico, teórico y económico. En nuestro estudio se realizó una revisión meticulosa, para brindar a la población información con resultados óptimos, sintetizando información sobre métodos eficaces para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Así Reyes, Cerino y Suárez (2006) presentaron que los residuos orgánicos son una buena solución ya que muestra características para remover el metal plomo, estos son de bajo costo como también amigable con el ambiente.

Así mismo en esta investigación a través del análisis documental se determinó un sistema tecnológico factible para remover metales pesados. Según Tejada, Villabona y Garcés (2014) señalaron a la adsorción como un proceso que ayuda a la remoción de iones de metales pesados con desechos orgánicos, esto no solo permite purificar el agua, sino también permite brindar un tratamiento a los residuos orgánicos industriales y agrícolas que no cuentan con ningún aprovechamiento y son de fácil adquisición (p.112).

Tejada, Villabona y Garcés (2014) En el aspecto teórico se realizó la búsqueda de información expuesta en un sin número de estudios con el fin de evaluar la efectividad de muchos residuos orgánicos, para comparar a través de una revisión sistemática que compruebe cuál es el más provechoso y eficiente (p.116). Lo cual se demuestra en este estudio para que los investigadores tengan una información precisa y fácil elección a la hora de ejecutar un proyecto.

Nuestra justificación económica en el presente estudio es con fines de seleccionar e identificar los mejores residuos orgánicos bio-adsorbentes que ayuden a la remoción de metales pesados en aguas contaminadas urbanas, según Tejada, Villabona y Garcés (2014) señalaron que estos residuos tienen excelentes ventajas, es de bajo costo, alta eficiencia, fácil adquisición y estos no necesitan adición de nutrientes. Así mismo, contribuye a la minimización de sustancias químicas y favorece al ambiente (p.111).

Sobre la base de la realidad problemática se planteó el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación es: ¿Cuál de los residuos orgánicos bio-adsorbentes, remueven mayor cantidad de metales pesados en aguas residuales urbanas? Dentro del problema general se presentan objetivos específicos, los cuales son: ¿Cuál es la técnica más utilizada con los residuos orgánicos para la remoción de metales pesados?, ¿Qué residuos orgánicos son bio-adsorbentes de metales pesados? y ¿Cuál es el residuo orgánico de mayor eficiencia en la remoción de metales pesados en aguas contaminadas urbanas?

El objetivo general fue determinar la eficiencia de los residuos orgánicos bio-adsorbentes para la remoción de metales pesados en aguas residuales urbanas a través de una revisión sistemática. Los objetivos específicos fueron los siguientes: Identificar la técnica de adsorción más utilizada para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas urbanas, caracterizar los residuos orgánicos bio-adsorbentes de metales pesados y comparar la eficiencia de residuos orgánicos bio-adsorbentes de metales pesados en aguas residuales urbanas.

## II. MARCO TEÓRICO

Infinidad de autores han investigado diferentes tipos residuos orgánicos para la purificación de aguas contaminadas con metales pesados, empleando diferentes métodos y técnicas. Alvarado y Gómez (2013) estudiaron los filtros a base de *Musa sapientum* (cáscara de plátano) y han mostrado su eficiencia en limpiar aguas contaminadas con metal plomo, si la cantidad de polvo de *Musa sapientum* aumenta mayor porcentaje habrá de remoción. En una retención de 97.93% se usó 5 gramos de cáscara de banano por cada 100 ml de agua (p.73).

Alvarado y Gómez (2013) demostraron que los coagulantes naturales obtenidos de residuos de *Sonalum tuberosum* (papa) y *Musa paradisiaca* (plátano) dieron resultados óptimos para reducir los parámetros de turbidez, color de las aguas y sobre todo los índices de plomo por intermedio de la prueba de jarras (p. 90).

Tejada et al. (2014) emplearon las cáscaras de *Citrus sinensis* Y *Musa paradisiaca* que contienen dos centros activos (hidroxilo y carbonilo) especial para absorber metales pesados, realizaron el proceso de carbón activado utilizándose el recubrimiento quitosano del residuo orgánico, las cuales demostraron una remoción de 66,6% y 93% de metales pesados como níquel y plomo (p. 125).

Pacheco et al (2007) estudio el residuo orgánico del café a través del proceso de modificación química con etanol acuoso al 50%, evaluó experimentalmente la adsorción de los iones plomo de 0 a 100ppm/g en un tiempo aproximadamente de 1 hora y cadmio de 0 a 68 ppm/g, en un tiempo aproximado de 30 minutos, se obtuvo resultados para plomo de 77,77% de remoción y para cadmio 56,23% de remoción (p. 280).

Según Gamarra (se citó a Clavijo y Maner, 1974) el 90% de almidón de la cáscara de banano se convierte en azúcares al cabo de doce días, donde los elementos de la cáscara son la celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%), demostrando resultados eficientes con 80% de remoción de plomo.

Quiñones et al. (2013) determinó que el bagazo de caña de azúcar y la corteza de Acacia son un potencial biosorbente, se realizó una comparación para ver cuál era el más eficiente, arrojando como resultado que el bagazo de caña con 33.3% de

remoción era el más eficiente con respecto a la corteza de Acacia un 29.4 % de remoción de plomo. Así mismo recomendó que en base a los residuos orgánicos identificados se realizarán trabajos de investigación localizadas en regiones geográficas específicas (p.479).

Tejada, Montiel, Acevedo (2016) estudiaron el proceso de adsorción en aguas contaminadas con Pb utilizando residuos orgánicos de las cáscaras de yuca y ñame modificadas químicamente con ácido cítrico, obteniéndose como resultado para la cáscara de yuca un 52.34% y la cáscara de ñame un 98.36 % de remoción de plomo, demostrando ser el más eficiente. Así mismo, se emplearon los modelos de Elovich y la isoterma de Langmuir y Freundlich para hallar adecuadamente los datos de adsorción experimentales (p.9).

Tejada, Herrera, Núñez (2016) estudiaron el proceso de adsorción a partir de la cáscara de naranja y zuro de maíz modificados químicamente. Mostrando resultados eficientes de acuerdo al tamaño de la partícula de los residuos, para cáscara de naranja un tamaño de 0,5mm, pH de 6, porcentaje de remoción 67,5% y para el zuro de maíz un 1mm, pH de 6, con un porcentaje de remoción de 99,2% (p. 169). Concluyendo que mientras más pequeña sea la partícula del residuo se va a obtener mayor cantidad de remoción de plomo.

Ore y Lavado (2016) estudiaron el residuo orgánico del marlo de maíz modificado químicamente con una solución 0,2M de NaOH. Para obtener resultados favorables, el tratamiento debe presentar buenas condiciones de temperatura, pH 5, el tiempo de movimiento de 60 min. Se concluye que el marlo de maíz tiene una cabida máxima de 12, 44 mg/g (p. 403).

Para una mejor comprensión del proyecto de investigación se plantean algunas definiciones esenciales para la investigación. Así para Alvarado y Gómez (como se citó en Sánchez, 2006) define el recurso agua como un líquido primordial para el desarrollo de las formas de vida que hay en el planeta, dicha partícula está integrada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O), pero también puede hallarse en sus dos formas más, hielo (forma sólida), vapor (forma gaseosa) (p.23).

Así Cusiche (2017), la polución de este recurso natural alude al desarreglo de la composición que casi siempre es propiciado por la humanidad. En la actualidad, el cuidado del agua se torna un gran problema cuando existe una fuente de contaminación por químicos: Efluentes industriales, sustancias químicas, agrícolas, domiciliarias o metales pesados (p. 43)

Para Peña (2014) señala que los metales tóxicos son significativos en bajas cantidades para cualquier organismo viviente esto se debe a su capacidad oxidativa y acumulativa (p.4). Al igual Ghosh y Singh (2005) indican que los metales pesados son ingeridos en cantidades significativas por los seres vivos, sin embargo, cantidades con alta concentración será nocivo para la salud (p. 218). Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los metales con altos índices de tóxicos son, mercurio, cromo, estaño, arsénico, cobre, cadmio, cobalto, zinc, níquel, berilio, manganeso y plomo (párr. 4).

La División de Toxicología y Medicina Ambiental (2017) afirma que al estar expuestos a metales pesados se ingieren por el sistema respiratorio y afecta gravemente y principalmente al sistema nervioso, un índice de plomo excesivo en el organismo puede afectar gravemente el cerebro, riñones y en peores de los casos el fallecimiento del individuo. El estar constantemente expuesto puede producir anemia y debilidad en las manos y los tobillos, además de perjudicar la calidad de los espermatozoides de los hombres, y a mujeres en gestación pueden llegar a abortar (p. 7). Así también, El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) coincidieron en determinar que es casi seguro que el plomo sea carcinogénico en individuos en referencia positivas de animales (p.7).

Según el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM en el artículo N°2, señala que los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el recurso agua son de índole obligatorio su cumplimiento, advirtiéndolo a sus condiciones naturales y en la ejecución de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo enfatizado en la Ley N°28611, Ley General del Ambiente, siendo su límite permisible de 0.05 mg/l.

Gutiérrez (se citó a Volesky, 1990) manifiestan los métodos utilizados para el tratamiento de aguas contaminadas con presencia de metales pesados, son: Precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación, los cuales tienen elevados costos y no son tan eficientes (p.3).

Ante esto Oré y Lavado (2016) plantean el método de bioadsorción como una excelente alternativa la cual es conceptualizada como la retención de iones por material biológico a través de mecanismos físico químicos, el proceso comprende el biosorbente y el solvente, la cual contiene la especie disuelta a ser removida (p.404). Así mismo, para Choquejahu (2018) nos dice que este proceso ocurre por intercambio iónico, por precipitación y complejación (p.34).

La eficiencia de los residuos orgánicos para retener metales pesados, ha hecho que se venga analizando muchos tipos de biosorbentes, así según Pacheco, Pimentel y Roque (2007), dan resultados excelentes cuando el residuo orgánico contiene estructuras como proteínas, polisacáridos, carboxilos, hidroxilos y grupos aminos o amidas; estas estructuras mantienen una técnica de unirse con los iones disueltos por atracción electrostática (p.280). Así también Choquejahu (como se citó a Hidalgo, 2004) señala a los factores que afectan el proceso del método de adsorción, ellos son, pH, temperatura, tamaño del bioadsorbente, el tipo y concentración inicial del contaminante (p. 35).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **a) Tipo de investigación: Aplicada**

Este proyecto es de tipo aplicada, la cual se respalda en la investigación de Vargas (2009), afirma que la investigación aplicada, es comprendida como el manejo de los conocimientos en la práctica, a fin de emplearlos en beneficio de los equipos que contribuyen en esos procesos y en la sociedad en general, así también del bagaje de nuevos conocimientos que engrandecen la disciplina (p. 159).

Nuestro proyecto de investigación es aplicada, porque busca dar soluciones prácticas realistas acerca de una problemática. En este caso se ha identificado el problema de que se encuentra bastante información documental acerca de residuos orgánicos absorbentes de metales pesados, y se busca dar una solución práctica haciendo una síntesis de los documentos, y finalmente a través de análisis estadísticos para verificar cuál de los residuos orgánicos es más eficiente para la remoción de plomo.

##### **b) Diseño de investigación: Narrativo de tópicos**

Salgado (2007), el investigador analiza diversas cuestiones: La historia de vida, pasaje o acontecimiento(s) en sí; El ambiente (tiempo y lugar) en el cual vivió la persona o grupo, y donde sucedieron los hechos; Las interacciones, la secuencia de eventos y los resultados. Mertens (2005) divide a los estudios narrativos en: De tópicos, biográficos y autobiográficos. En esta investigación se aplicó de tópicos (enfocados en una temática, suceso o fenómeno).

En este proyecto de investigación, el diseño de investigación es narrativo de tópicos, porque se narra hechos que ya han sucedido, simplemente se da un enfoque diferente dependiendo del investigador.



### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Cisterna (2005) la matriz de categorización apriorística es un modelo elaborado antes del proceso copulativo de la información en la que se distinguen categorías, que indican un tópico en sí mismo; y las subcategorías, que especifican dicho tópico en micro aspectos. Las categorías están basadas en los objetivos del estudio, y están relacionadas a subcategorías que se despliegan en criterios.

**Tabla 1.** *Matriz de categorización apriorística*

N°	Categoría	Sub categoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
1	Técnicas de adsorción de metales pesados	Sistema continuo Sistema discontinuo	pH  Tiempo de remoción	% de remoción	Tamaño del bio-adsorbente
2	Características de los residuos	Propiedades fisicoquímicas	Hemicelulosa celulosa, la pectina y la lignina	Grupos funcionales como grupos-OH – hidroxilo, Grupo CH– aromático y el Grupo OC- carbonilo	Carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno
3	Comparación de la eficiencia	Porcentaje remoción Indicadores	de Artículos con porcentaje de remoción alto	Artículos con porcentaje de remoción considerable	Artículos con porcentaje de remoción bajo

### **3.3. Escenario de estudio**

López (1998) el escenario de estudio es el lugar donde se llevó a cabo la investigación de los integrantes, análisis de características y los recursos disponibles que utilizaron desde la elaboración del proyecto de investigación (p.121).

El presente estudio se realizó revisando antecedentes de los residuos orgánicos que mejor remueven los metales pesados teniendo en cuenta parámetros, para así evaluar qué características y qué métodos utilizados los hace más efectivos contra el plomo, cadmio, cobre, cromo y níquel, con el propósito de disminuir concentraciones de metales pesados en las aguas residuales urbanas.

### **3.4. Participantes**

Los participantes en esta presente revisión sistemática son las bases de datos de diferentes revistas científicas de donde se ha extraído la información, cabe recalcar que estas bases de datos se encuentran en revistas científicas indexadas que brindan una buena confiabilidad y consistencia al estudio, entre ellas tenemos, de Scielo (16), Dialnet (3), PLOS ONE (4), HINDAWI (2), Repositorio de RIVES - Instituto de la universidad el Salvador (1), repositorio UCV - Universidad cesar vallejo (2), Redalyc (1), Science Direct (1), Repositorio UNCP - Universidad Nacional del Centro Perú (2), Repositorio de la Universidad de Guayaquil (1), Repositorio de la Universidad Nacional de San Martín (1), DOAJ (1), Repositorio de la Universidad Autónoma de Nuevo León (2), Repositorio Universidad Politécnica Salesiana (2), Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (1).

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Martínez (2013), la define como una ruta meticulosa que se tienen que seguir para llegar al método, son estrategias destinadas para obtener la información que se requiere y de este modo lograr el conocimiento adquirido para el desarrollo del proyecto (p.2).

En este estudio la técnica empleada es el análisis documental, en tal sentido, Sánchez y Vega (como se citó a Mijailov 2003) manifiestan que los procedimientos del análisis documental son como una réplica a las necesidades del estudio, y por tal razón, se fundamenta como una técnica científica auxiliar de la investigación.

Sánchez y Vega (como se citó a Vickery 2003) el análisis documental expresa que se realiza la descripción bibliográfica, el resumen y la descripción característica (p.51). se realizó un análisis de la información implantada en los artículos y verificar cuál de los residuos orgánicos bio-adsorbentes es el más eficiente para remover metales pesados.

### **Instrumento de recolección de datos**

Arias (2006) indica que el instrumento de recolección de datos es cualquier técnica, dispositivo o formato (en papel o digital), que se emplea para obtener, registrar o almacenar información.

En este estudio nos referimos a que nuestro trabajo es confiable porque la técnica empleada para la recolección de datos es análisis documental ha sido debidamente referenciadas en artículos de revistas científicas indexadas y para reunir y sintetizar la información se ha hecho a través de fichas de análisis.

### **3.6. Procedimiento**

Hernández (2014) define que los procedimientos son propósitos a través de los cuales se rigen como un medio con el fin de establecer un método para el manejo de futuras actividades. Radica en procesos periódicos de los actos y hechos requeridos en el desarrollo del proyecto. Estas son guías de acción, mediante las cuales se detalla la manera exacta en que pueden ejecutarse las actividades (p.209).

Este estudio consta de 4 etapas.

En la primera etapa, consistió en la identificación de la problemática, la cual se basa en información documentada que se encuentra en diferentes bases de datos, y no hay una síntesis de toda la información.

En la segunda etapa, consiste en la búsqueda de información en las bases de datos: Scielo (16), Dialnet (3), PLOS ONE (4), HINDAWI (2), Repositorio de RIVES - Instituto de la universidad el Salvador (1), repositorio UCV - Universidad cesar vallejo (2), Redalyc (1), Science Direct (1), Repositorio UNCP - Universidad Nacional del Centro Perú (2), Repositorio de la Universidad de Guayaquil (1), Repositorio de la Universidad Nacional de San Martín (1), DOAJ (1), Repositorio de la Universidad Autónoma de Nuevo León (2, Repositorio Universidad Politécnica Salesiana (2), Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (1).

En la tercera etapa, se realizó la selección de artículos de acuerdo a las variables de estudio, a través de los criterios de inclusión y exclusión.

En la cuarta etapa, consistió en hacer la comparación de residuos orgánicos bio-adsorbentes para ver cuál es más eficiente en la remoción de metales pesados.

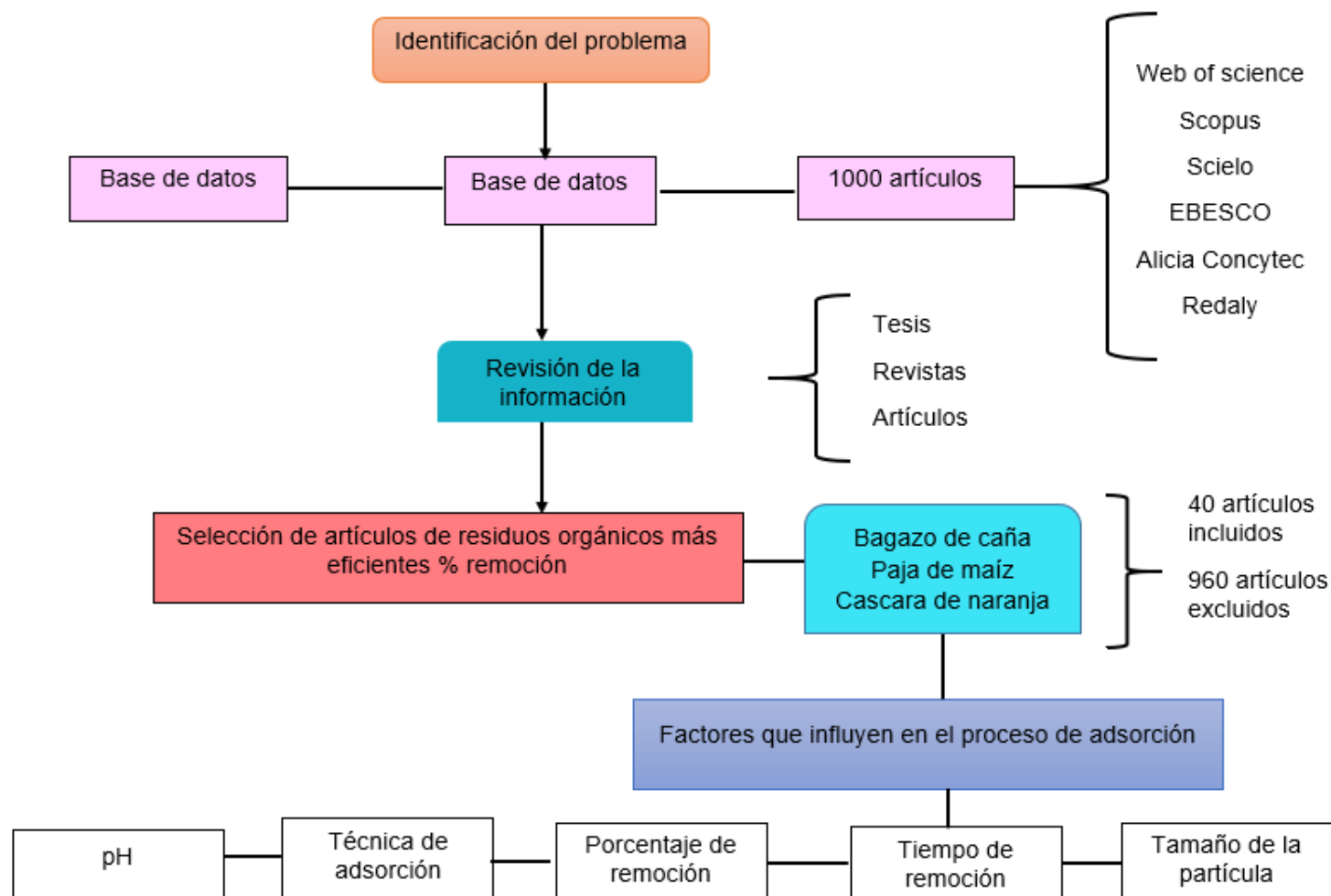


Figura 01: Flujograma de procedimientos

Fuente: Elaboración propia

### **3.7. Rigor científico**

El rigor científico de la presente investigación se basa básicamente en regir y respetar la autoría, cumplir con las normas y lineamientos que la comunidad científica nos exige en materia de investigación, así mismo, seguir y adaptar nuestro proyecto de investigación, mediante las normas ISO 690, la guía de productos observables que la universidad nos proporciona y mediante Turniting que valida que nuestro proyecto de investigación no haya irregularidades ni plagio.

### **3.8. Método de análisis de información**

López (2009), afirma que son muy variados los métodos de análisis para los documentos. Se fundamentan en la investigación interna de los documentos, estos han procurado acentuar su sentido y caracteres primordiales. De esta manera, frecuentemente será su aparición y es vital como base para las conclusiones.

En este proyecto de investigación se aplicó una revisión sistemática, primero se realizó un análisis exhaustivo de información documentada de residuos orgánicos bio-adsorbentes de metales pesados, para después ser seleccionada por criterios de inclusión y exclusión y sistematizar la información requeridas de acuerdo a las variables de estudio.

### **3.9. Aspectos éticos**

Viorato y Reyes (2018), afirma que la investigación científica es una importante contribución a la humanidad, siendo así que a través de sus avances ha sido consolidada. El conocimiento científico siempre debe estar ceñido a los lineamientos éticos que constituyan responsabilidades e integridad. La ética es una exigencia metodológica práctica que todo investigador debe tener para una verdadera y plena investigación. El motivo por el cual el investigador adopta responsabilidades y estas de no ser cumplidas lo harían parte de la omisión, negligencia e incluso fraude (p.37).

Para el desarrollo de este estudio de investigación se tomó en cuenta la autoría de las fuentes de información citando correctamente con la norma vigente, previniendo así deslucir la información de los trabajos expuestos. Así mismo, esta información es real porque se respeta los derechos del autor a través de las citas y referencias, corroborando que no se hizo plagio en esta investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 1000 artículos que contienen las palabras claves (residuos bio-adsorbentes), 960 fueron excluidos porque no cumplieron con los criterios de inclusión.

**Tabla 2.** *Artículos de residuos orgánicos adsorbentes de metales pesados*

Autor	Especie absorbente	Tipo de contaminante	Técnica de adsorción	Tiempo de remoción	Tamaño de la partícula	pH
Vera Luisa(2015)	<i>Saccharum officinarum</i> (Bagazode caña)	Plomo	Sistema discontinuo	40 min	0,59 mm	6
Guo et al.(2020)	<i>Zea mays</i> (paja de maíz)	Plomo	Sistema discontinuo /lotes	13 h	0,25 mm	3
Tejada et al. (2016)	<i>Citrus sinensis</i> (Cáscara de naranja)	Plomo	No identificado	2 h	1 mm	6



Mukul et al.(2019)	<i>Leucaena leucocephala</i> (Guaje)	Plomo	Sistema discontinuo	2 h	No especifica	6
Alvarado y Gomez (2013)	<i>Musa paradisiaca</i> (cascara de plátano)	Plomo	sistema Continuo/ lechos	10 min	0.841mm	4
Tejada et al. (2018)	<i>Elaeis guineensis</i> (bagazo de palma)	Plomo	Sistema continuo	2:30 h	0.5 mm	6
Vizcaino y Fuentes (2014)	<i>Citrus sinensis</i> (cascara naranja)	Plomo	Sistema discontinuo/batch	3 h	180 µm	4.5
Fuentes et al. (2017)	<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Plomo	Sistema discontinuo	3 h	1 mm	5.5
Oré et al. (2015)	<i>Zea mays</i> (Marlo demaíz)	Plomo	Sistema discontinuo/ batch	3 horas	50 um	6
Khandanlou et al. (2015)	<i>Oryza sativa</i> (pajillade arroz)	Plomo	Sistema discontinuo/ lotes	59.35 s	No especifica	6

Vizcaino y Fuentes (2014)	<i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna)	Plomo	Sistema discontinuo/ batch	3 horas	180-250 µm	4.5
Tejada et al. (2018)	<i>Dioscorea alata</i> (cáscara ñame)	Plomo	Sistema continuo	2:30 horas	0.5 mm	6
Chacaltana(2018)	<i>Coffee arabica</i> (borrade café)	Plomo	Sistema discontinuo/batch	2 horas	0.420mm	6
Lara et al.(2016)	<i>Theobroma cocoa</i> (Residuos de cacao)	Plomo	Sistema continuo      delecho fijo	2 horas	0.5 mm	6
Shridhar et al.(2017)	<i>Musa paradisiaca</i> (pseudotallo de banano)	Pomo	Sistema discontinuo/lotas	2 horas	500 um	5.2
Vera et al. (2018)	<i>Theobroma cacao</i> (cáscara de cacao)	Plomo	sistema Continuo	4:14 horas	1 mm	5
Dorregaray(2018)	<i>Ananas comosus</i> (cáscara de Piña)	Plomo	No identificado	3 horas	No especifica	6.5
Castro (2015)	<i>Musa paradisiaca</i> (Cáscara de plátano)	Plomo	Sistema discontinuo	48 horas	400 um	6,9 - 5,4

Pacheco et al.(2010)	<i>Coffee arabica</i> (Residuo de café)	Plomo	Sistema discontinuo/batch	4 horas	30-60 um	5
Candelaria, Villabona y Garces (2015)	<i>Manihot esculenta</i> (Cáscara de yuca)	Plomo	Sistema discontinuo/ batch	5:30 horas	0.5 mm	6
Ticona (2018)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	Plomo	Sistema discontinuo/ batch	15 min	200 um	5.5
Verdugo (2017)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	Plomo	sistema Continuo/ lecho fijo	30 min	0.3 mm	4
Junkai et al. (2020)	<i>Ziziphus jujuba</i> (Azufaifo)	Plomo	Sistema discontinuo/ lotes	30 min	200 um	6
Bustamante (2011)	<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	Plomo	Sistema discontinuo/ lotes	4.5 horas	No especifica	4

Candelaria (2015)		<i>Citrus x limon</i> (Cascara de Limón)	Plomo	Sistema discontinuo/ batch	5:30 horas	0.5 mm	6
Vizcaíno Fuentes (2014)	Y	<i>Citrus sinensis</i> (Cascara naranja)	Cadmio	Sistema discontinuo/batch	3 horas	25 mm	4.5
Vizcaíno Fuentes (2014)	Y	<i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna)	Cadmio	Sistema discontinuo/ batch	3 horas	25 mm	4.5
Mukul et al. (2019)		<i>Leucaena leucocephala</i> (Guaje)	Cadmio	Sistema discontinuo	2 horas	No especifica	6
Dorregaray(2018)		<i>Ananas comosus</i> (cáscara de Piña)	Cadmio	No identificado	3 horas	No especifica	6.5
Chacaltana (2018)		<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	Cadmio	Sistema discontinuo/ batch	2 horas	0.42 mm	6
Vera et al. (2018)		<i>Theobroma cacao</i> (cáscara de cacao)	Cadmio	Sistema continuo	3:52 horas	1 mm	5

Vera (2015)	Luisa	<i>Saccharum Officinarum</i> (Bagazode caña)	Cadmio	Sistema discontinuo	10 min	0.59 mm	6
Khandanlou et al. (2015)		<i>Oryza sativa</i> (Pajillade arroz)	Cobre	No identificado	41.96 s	no especifica	6
Calero (2012)		<i>Pinus sylvestris</i> (Corteza de pino)	Cobre	sistema Continuo/lecho fijo	4 horas 20 min	0.1	5
Bustamante (2011)		<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	Cobre	Sistema Discontinuo/lotos	4.5 horas	0.841m m	5
Netzahuatl et al. (2015)		<i>Cupressus lusitanica</i> (Corteza de ciprés)	Cromo	Sistema Discontinuo/lotos	72 horas	0.5 mm	1.5
Lagos (2016)		<i>Coffee arabica</i> (borrade café)	Cromo	Sistema discontinuo/batch	4 horas	0.5 mm	5

Verdugo (2017)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	Cromo	sistema Continuo/lecho fijo	30 min	0.3 mm	4
Tejada et al (2018)	<i>Dioscorea alata</i> (cáscara de ñame)	Níquel	Sistema continuo	2:30 horas	0.5 mm	6
Tejada et al (2018)	<i>Elaeis guineensis</i> (bagazo de palma)	Níquel	Sistema continuo	2:30 horas	0.5 mm	6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se muestra los artículos seleccionados que abordan el tema de los residuos bio-absorbentes de metales pesados como plomo, cadmio, níquel, cobre y cromo; 25 estudios de plomo, 7 de cadmio y 8 son una mezcla de tres metales; 6 estudio utilizaron *Coffee arabica* (café), y 3 estudios de *Citrus sinensis* (naranja), *Musa paradisiaca* (plátano) *Theobroma cacao* (cacao) cada uno.

Se ha realizado la selección de artículos de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión, considerados en la revisión de artículos, así mismo, estudiar los parámetros y características (la técnica de adsorción, el tiempo de remoción, tamaño de la partícula adsorbente, pH y el % de remoción) que afectan el proceso de adsorción con la finalidad de sintetizar mejor la información expuesta en ellos.

**Tabla 3.** Cantidad de artículos de metales pesados tratados por el método de la adsorción

Metales pesados	Cantidad de artículos
Plomo	25
Cadmio	7
Cromo	3
Cobre	3
Níquel	2

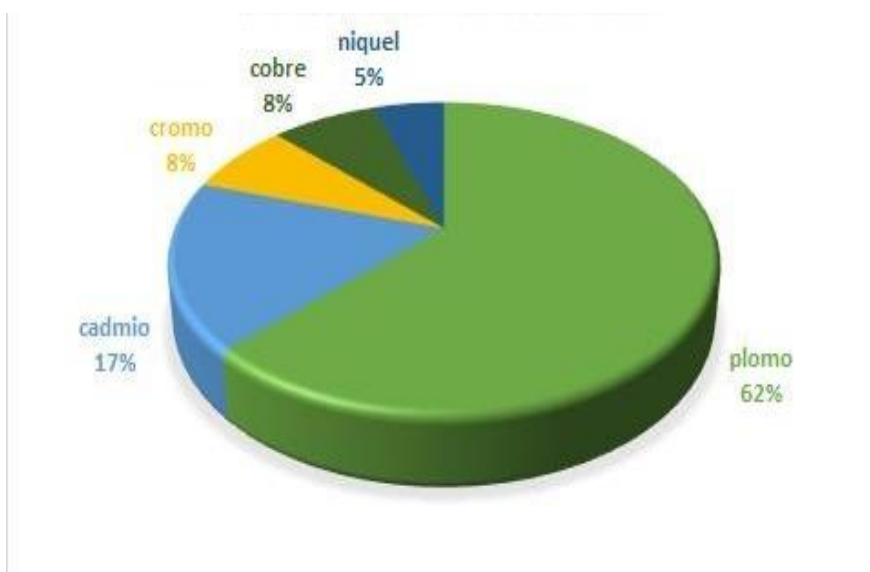


Figura 02: Cantidad de artículos de metales plomo, cadmio, cromo, cobre y níquel

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se señala la cantidad de artículos por metal, lo cual hace referencia que el metal plomo tiene mayor cantidad con 25 artículos que equivale el 62% de la totalidad, al igual que el cadmio con 7 artículos que representa el 17% y cromo, cobre y níquel el 21 % restante.

**Tabla 4.** *Cantidad de artículos clasificados según la técnica de adsorción.*

<b>Técnica de adsorción</b>	<b>Cantidad de artículos</b>
Sistema discontinuo	25
Sistema continuo	11
No identificado	4

Fuente: Elaboración propia

Las técnicas de adsorción son importantes ya que determinan la remoción de metales presentes en aguas residuales, en la tabla 2 se expresa los resultados obtenidos donde el sistema discontinuo (proceso batch y proceso por lotes) con 25 artículos es el más empleado, el sistema continuo (columna de lecho fijo) con 11 artículos, y 4 autores que no mencionaron la técnica que utilizaban.

El sistema discontinuo tipo batch ha sido la técnica más empleada en los tratamientos de agua contaminada con metales pesados, así lo mencionaron los siguientes autores, Tejada et al (2018), Lara et al. (2016), Vera et. al. (2018), Verdugo (2017). De igual manera Pacheco (2014) quienes señala que las ventajas de esta técnica son: Controlar la concentración, velocidad de agitación y no necesita de una persona que permanezca presente constantemente durante el proceso si no que se opera de forma individual. En cambio, Belaire (2017), menciona que este sistema tiene una desventaja con respecto a los sistemas en continuo, y es que la concentración de contaminante en contacto con la capa superficial del bioadsorbente disminuye con el tiempo, reduciendo así su eficiencia.

Se determinó que la técnica más empleada en el estudio, es el sistema discontinuo – proceso batch, muchos investigadores ((Pacheco (2014), Fuentes (2017), Vizcaíno y Fuentes (2014), Oré et al. (2015)), han usado este proceso y ha dado confiabilidad en sus resultados para remover metales pesados con especies bioadsorbentes, lo cual se recomienda utilizar este sistema ya que no genera residuos y no habrá pérdidas o fallos del proceso si hay alguna intervención fortuita.



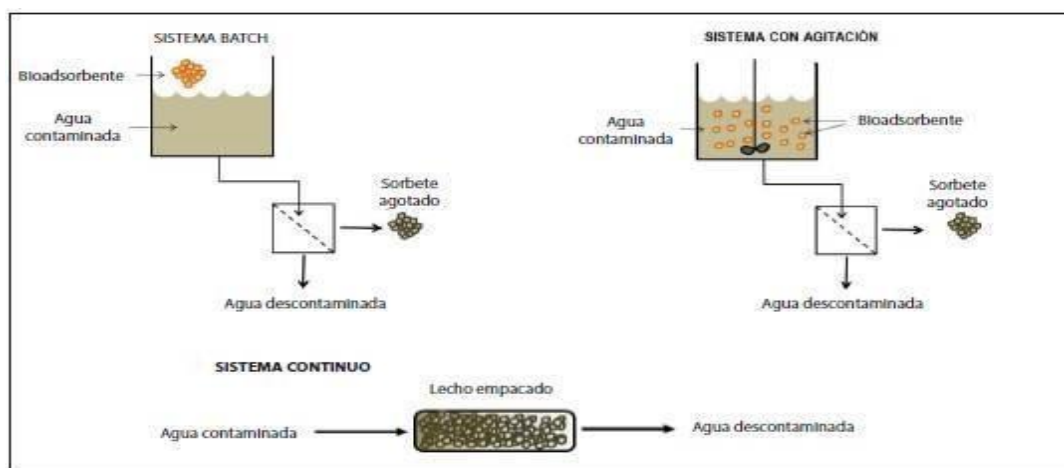


Figura 03: Representación gráfica de los sistemas continuo y discontinuo.

Fuente: Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias

**Tabla 5.** Artículos de residuos orgánicos absorbentes del metal plomo

RESIDUOS DE FRUTOS		
REFERENCIA	NOMBRE DEL RESIDUO	REMOCIÓN %
Vera Luisa (2015)	<i>Saccharum officinarum</i> (Bagazo de caña)	99.76%
Guo et al. (2020)	<i>Zea mays</i> (paja de maíz)	99.5%
Tejada et al. (2016)	<i>Citrus sinensis</i> (Cáscara de naranja)	99,2 %
Mukul et al. (2019)	<i>Leucaena leucocephala</i> (Guaje)	99%
Alvarado y Gomez (2013)	<i>Musa paradisiaca</i> (cascara de plátano)	98.92%
Tejada et al. (2018)	<i>Elaeis guineensis</i> (bagazo de palma)	98,04%
Vizcaino y Fuentes (2014)	<i>Citrus sinensis</i> (cascara naranja)	98 %
Fuentes et al. (2017)	<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	97 %
Oré et al (2015)	<i>Zea mays</i> (Marlo de maíz)	97%
Khandan Lou et al. (2015)	<i>Oryza sativa</i> (pajilla de arroz)	96,25%

Vizcaino y Fuentes (2014)	<i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna)	95%
Tejada et al. (2018)	<i>Dioscorea alata</i> (cáscara ñame)	95,57%
Chacaltana (2018)	<i>Coffee arabica</i> (borra de café)	94.05%
Lara et al. (2016)	<i>Theobroma cocoa</i> (Residuos de cacao)	91,32%
Shridhar et al. (2017)	<i>Musa paradisiaca</i> (pseudotallo de banano)	89%
Vera et al. (2018)	<i>Theobroma cacao</i> (cáscara de cacao)	88%
Dorregaray (2018)	<i>Ananas comosus</i> (cáscara de Piña)	87,64%
Castro (2015)	<i>Musa paradisiaca</i> (Cáscara de plátano)	80,07%
Pacheco et al. (2010)	<i>Coffee arabica</i> (Residuo de café)	77.77%
Candelaria, Villabona y Garces (2015)	<i>Manihot esculenta</i> (Cáscara de yuca)	72,98%,
Ticona (2018)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	71,95%
Verdugo (2017)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	71%
Junkai et al. (2020)	<i>Ziziphus jujuba</i> (Azufaifo)	70%
Bustamante (2011)	<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	62.4 %
Candelaria (2015)	<i>Citrus x limon</i> (Cascara de Limón)	49,83%

Fuente: Elaboración propia

En los estudios de absorción de plomo se han revisado 25 artículos, de los cuales 14 han tenido una remoción relevante mayor de 90 %, 9 una remoción regular entre 89 % y 70 %, y 2 artículos con una remoción menor del 70 %.

El plomo es un metal con número atómico 82 que tiene características de buen conductor eléctrico y una excelente resistencia a la corrosión en el aire, agua y suelo, la cual permite una mayor asociación con los residuos vegetales (bagazo de caña, paja de maíz, cáscara de naranja, guaje, cáscara de plátano), Además de ello Hussein et al. (2004) mencionan que las sales de estos metales pesados son solubles en agua y por consecuencia no pueden ser separadas por los métodos ordinarios tradicionales. Por tal razón, se han planteado diversos tratamientos avanzados que permiten la eliminación de estas sales.

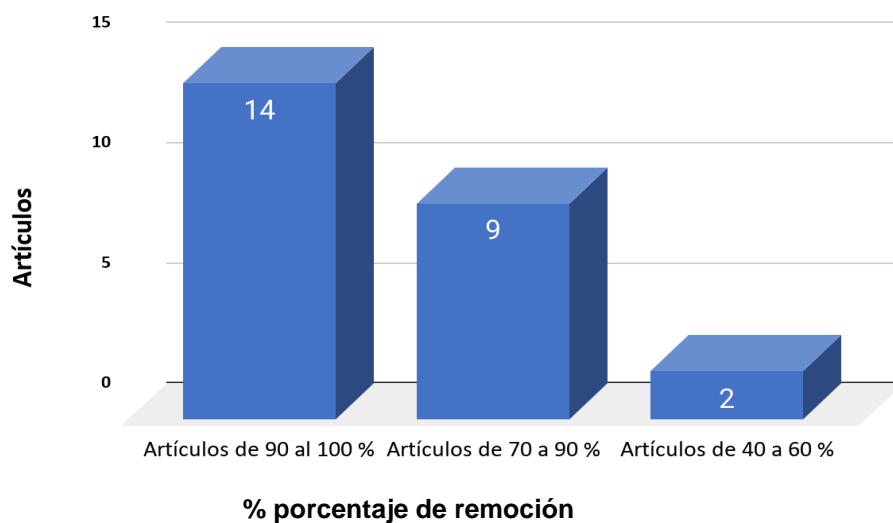


Figura 04: Artículos del porcentaje de remoción

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se observa que el 56% corresponde a los artículos con mayor porcentaje de remoción (90 a 100%) entre ellos están los residuos frutales (*Saccharum officinarum* (Bagazo de caña), *Zea mays* (paja de maíz), *Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), *Leucaena leucocephala* (Guaje), *Musa paradisiaca* (cáscara de plátano), *Elaeis guineensis* (bagazo de palma) y otros que se evidencian en la tabla 2).

El 36% corresponde a los artículos que tienen un moderado porcentaje de remoción (70% a 90% de remoción), donde también sobresalen los artículos con residuos frutales (*Musa paradisiaca* (pseudotallo de banano), *Theobroma cacao* (cáscara de cacao), *Ananas comosus* (cáscara de piña), *Musa paradisiaca* (Cáscara de plátano)).

El 8% corresponde a los artículos que menos porcentaje de remoción tienen (40 a 80% de remoción) entre ellos están residuos agrícolas (*Coffee arabica* (residuo de café), *Manihot esculenta* (Cáscara de yuca), *Citrus reticulata* (cáscara de mandarina), *Citrus reticulata* (cáscara de mandarina), *Ziziphus jujuba* (Azufaifo)).

Para estudiar la composición química del residuo adsorbente se realiza mediante análisis Espectro FTIR simple, así Tejada et al. (2016) indica que a través del análisis infrarrojo - FTIR, determinó que los residuos removedores de plomo tienen

una superficie irregular y gran variedad de grupos funcionales (los grupos-OH – hidroxilo- debido al estiramiento de alcoholes, de fenoles y de ácidos carboxílicos, en la pectina, en la celulosa y en la lignina, el Grupo CH– aromático y el Grupo OC-carbonilo), que posibilita su uso como biosorbente de especies metálicas. Por otro lado, Vera (2015) manifiesta que los residuos adsorbentes contienen una composición de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, y en su pared celular contiene propiedades como la hemicelulosa, la celulosa, la pectina y la lignina que posibilitan una mejor capacidad de retener metales pesados.

De acuerdo al análisis de los artículos se difiere que los residuos que presentan mayor número de grupos funcionales en sus estructuras de sus membranas son mayores captadoras y retiene mayor cantidad de iones de metal plomo. Estas especies que mantienen estas características se vinculan más con los residuos frutales y residuos agrícolas (*Saccharum officinarum* (Bagazo de caña), *Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), *Musa paradisiaca* (cáscara de platano), *Zea mays* (paja de maíz)) en su composición química se han evidenciado que son especiales para remover este metal.

Así también las especies de *Citrus lemon* (Cáscara de Limón) y *Coffee arabica* son los que tienen menos porcentaje de remoción, esto se debe al tiempo de remoción ya que al comparar entre los residuos de café que están dentro de los 90 % tiene un tiempo de 2 horas, al incrementar el tiempo se satura la partícula absorbente lo que ocasiona poca retención del metal, porque la composición química de la cáscara de los dos residuos contiene los mismos grupos funcionales que los que tienen 90 % de remoción.

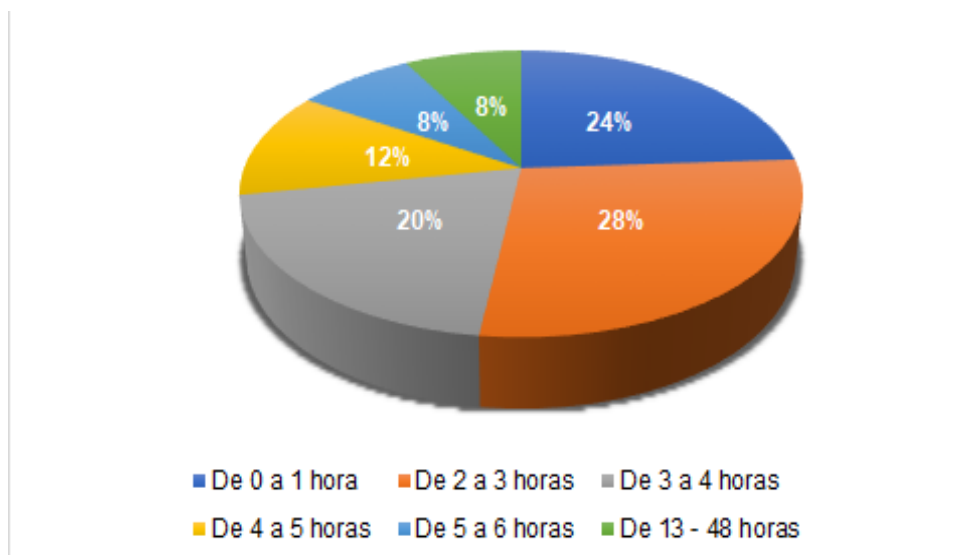


Figura 05: Artículos según el tiempo de equilibrio de adsorción

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de remoción determina el tiempo que alcanza el equilibrio de adsorción el material orgánico, como se observa en la figura 4, el 52 % de los artículos de estudio ratifica que el tiempo óptimo para la remoción es de 0 a 3 horas. Sin embargo, puede haber casos inusuales que tengan parámetros muy altos o bajos y aun así un % de remoción es notable como es el caso de Guo et al. (2020) con *Zea mays* (paja de maíz) que tiene un tiempo de remoción de 13 horas.

Vera (2015) Indica en su investigación que durante los primeros 5 minutos de contacto entre el metal y el bio-adsorbente ocurre la mayor parte de la adsorción del soluto y que aproximadamente a los 30 minutos de contacto la concentración final alcanza el estado estable. Así también manifiesta que el tiempo necesario para la retención del metal es de gran importancia para el diseño y operación de los procesos de bioadsorción.

Por otro lado, Vizcaíno (2017) señala que el tiempo óptimo para la remoción no debe superar 180 min, alcanzando la concentración de equilibrio. A tiempos superiores, se puede generar un incremento de la concentración del metal en la solución, como consecuencia de la saturación de la superficie porosa de las biomasas con cationes de plomo.

El tiempo de remoción varía, mientras más rápida sea la velocidad de agitación en los primeros 30 minutos se obtiene la mayor retención de metales y en el tiempo siguiente avanza de forma lenta, pero si supera las 3 horas el absorbente se satura y ya no retiene más cantidad de metales pesados, así lo señalan los siguientes autores: Vera (2015) *Saccharum officinarum* (Bagazo de caña), Tejada et al. (2016) *Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), Alvarado y Gomez (2013) *Musa paradisiaca* (cáscara de plátano), Mukul et al (2019) *Leucaena leucocephala* (Guaje), *Elaeis guineensis* (bagazo de palma), estos son los primeros 5 autores que tienen mayor cantidad de remoción de plomo con el tiempo óptimo de equilibrio de remoción. Los artículos de residuos absorbentes de plomo que superan las 3 horas como es el caso de Castro (2015) *Musa paradisiaca* (cáscara de plátano) con 48 horas de remoción y Candelaria (2015) *Citrus x limon* (Cáscara de limón) con 5.5 horas para el equilibrio de adsorción, este tiempo elevado ha hecho que el adsorbente se sature y no retenga muchos iones de metal por el exceso de tiempo expuesto.

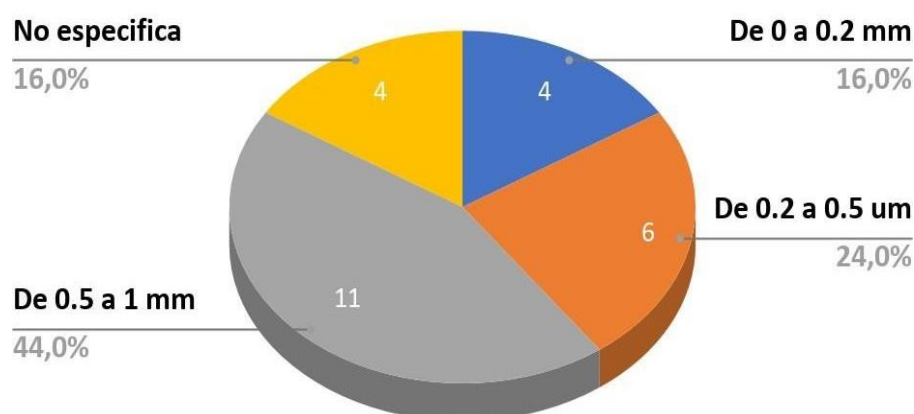


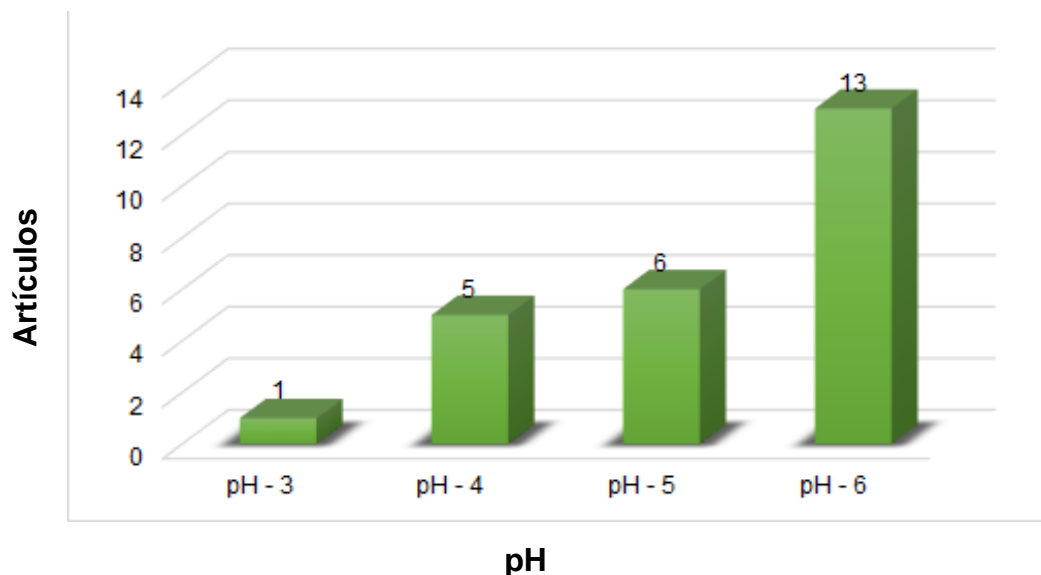
Figura 06: Datos recolectados de diferentes artículos sobre el tamaño de la adsorbente

Fuente: Elaboración propia

El tamaño de la partícula adsorbente es un parámetro que juega un papel importante para el proceso de la bioadsorción, ya que de acuerdo a este tamaño va a depender el número de iones metálicos atraídos y retenidos en la partícula adsorbente, en la figura 5 se observa que el 0,5 a 1 mm con el 44 % es el más utilizado y ha dado excelentes resultados. (Vera (2015), Alvarado Y Gomez (2013), Fuentes et al. (2017), Lara et al. (2016)).

Tejada et al. (2016) respalda los resultados, dado que al disminuir el tamaño de partícula de las biomásas, aumentaría la capacidad de adsorción de los iones metálicos, puesto que los procesos de adsorción están directamente relacionados con el área de contacto entre el material adsorbente y la fase líquida; sin embargo, a pequeños tamaños de partícula se puede dar la aglomeración de las mismas, lo que interfiere en la adsorción metálica, puesto que la partícula no puede ser ni muy pequeña ni muy grande. El tamaño ideal es de 0.5 a 1 mm.

Los artículos que tienen un tamaño de partícula 0,2 a 0.5 han tenido un porcentaje de remoción menor, 4 de éstos inferior al 80% por lo que se infiere que este tamaño de partícula no favorece la capacidad de adsorción de los iones metálicos. (Ticona (2018), Verdugo (2017), Junkai et al. (2020), Castro (2015)).



*Figura 07: pH que influyen en el proceso de adsorción de metales pesados*

Fuente: Elaboración propia

El pH en la adsorción afecta a la carga superficial de biosorbente, el grado de ionización, y la especiación del adsorbato (Vera, 2015). Dentro de los 14 artículos con eficiencia superior al 90%, 9 utilizaron el valor del pH 6 siendo también el más utilizado del total como se muestra en la Figura 6. (Vera (2015), Tejada et al. (2016), Mukul et al. (2019), Oré et al (2015)).

Tejada et al (2016) indica que a valores superiores de pH 6 se incrementa la concentración de iones OH induciendo cambios en la superficie del adsorbente y aumentando la adsorción de los iones metálicos; esto se debe a que la superficie del bio-adsorbente podría estar protonada, es decir, la adición de un protón a un átomo, molécula o ion, lo que favorece la captación de plomo en su forma aniónica.

Además de ello Vizcaíno (2017) señala que el comportamiento del pH en el proceso indica que existe una mayor atracción entre los iones de  $Pb^{+2}$  y los grupos funcionales superficiales a valores de pH, en el rango 5,0 a 6,0 unidades, obteniéndose absorciones máximas. Así también indican que en el proceso se observa claramente que los pH ácidos reducen la capacidad del biomaterial para capturar y retener el plomo, como consecuencia de la solubilización del catión en la matriz acuosa y la hidrólisis del material biológico.

En la revisión sistemática de residuos orgánicos bio-adsorbentes de plomo se identificó que el método más utilizado para la adsorción es el sistema discontinuo mediante el proceso batch, el 70 % de los artículos coincide que este método es el más efectivo para remover el metal plomo. Y entre los residuos adsorbentes más estudiados tenemos al bagazo de caña, paja de maíz y cáscara de naranja gracias a sus propiedades químicas (grupos funcionales como grupo hidroxilo, grupo carbonilo, grupo aromático, estiramiento de grupos de alcoholes de fenoles y ácidos carboxílicos, en la pectina, lignina, celulosa) que concentra en su estructura vegetal. El tamaño de la partícula 0.5 a 1 mm, pH 6, tiempo de remoción 0 a 3 horas, son los indicadores de residuos orgánicos mayormente frutales más eficientes para remover metales como el plomo.



**Tabla 6.** Artículos de residuos orgánicos adsorbentes del metal cadmio

Referencia	Nombre del residuo	% Remoción
Vizcaíno y Fuentes (2014)	<i>Citrus sinensis</i> (cáscara naranja)	99,5
Vizcaíno y Fuentes 2014)	<i>Opuntia ficus-indica</i> (tuna)	99,25
Mukul et al. (2019)	<i>Leucaena leucocephala</i> (Guaje)	99
Dorregaray (2018)	<i>Ananas comosus</i> (cáscara de Piña)	98,64
Chacaltana (2018)	<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	96.54
Vera et. al. (2018)	<i>Theobroma cacao</i> (cáscara de cacao)	90
Vera luisa (2015)	<i>Saccharum officinarum</i> (Bagazo de caña)	77.81

Fuente: Elaboración propia

En los estudios de absorción de cadmio se han revisado 7 artículos, de los cuales 6 han tenido una remoción relevante mayor de 90 % de efectividad, y solo 1 una remoción de 77.81%

El cadmio existe en forma de ion libre o como complejo iónico asociado a otras sustancias inorgánicas u orgánicas. Los compuestos de cadmio solubles se movilizan en el agua, mientras que los insolubles se depositan en el sedimento. Dorregaray (2018) manifiesta que los residuos orgánicos en especial los frutos tienen un mayor porcentaje de remoción con el metal cadmio debido a sus altos contenidos en celulosa, hemicelulosa y lignina la cual permite una mayor asociación con los residuos vegetales (cáscara de naranja, cacao, tuna, guaje, piña Hawaiana, borra de café).

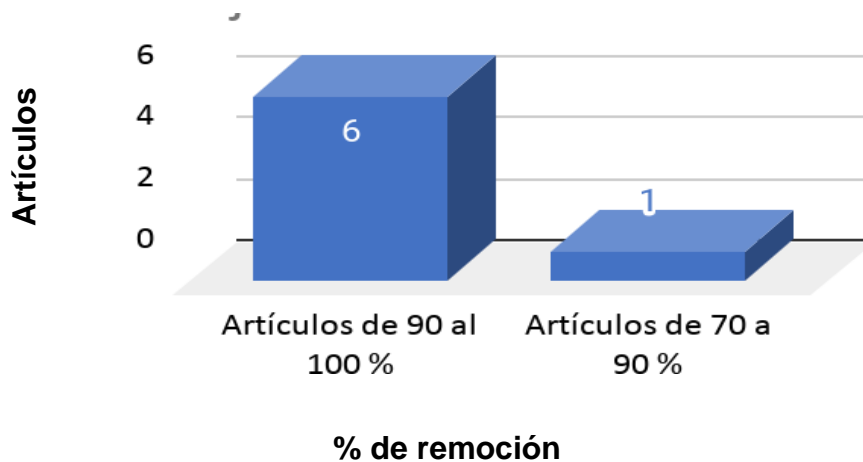


Figura 08: Artículos seleccionados según el Porcentaje de remoción de cadmio

Fuente: Elaboración propia

Según el porcentaje de remoción como se puede observar en la figura 7, el 87.5% corresponde a los artículos que mayor porcentaje de remoción (90 a 100% de remoción) se han obtenido, dentro de ellos sobresalen los artículos de residuos frutales (*Citrus sinensis* (Cáscara de naranja), *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Leucaena leucocephala* (Guaje), *Ananas comosus* (cáscara de Piña), *Theobroma cacao* (cáscarade cacao) y *Coffee arabica* (cáscara de café)).

El 14.25 corresponde al artículo que tiene poco porcentaje de remoción (70 a 90% de remoción) que sobresale en los artículos es *Saccharum officinarum* (Bagazo de caña)). Estos artículos tienen en común que los residuos la mayoría son frutales, estos frutos contienen carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno en su pared celular, contiene propiedades como la hemicelulosa, la celulosa, la pectina y la lignina que posibilitan la adsorción de metales pesados.

Pacheco Pimentel y Roque (2010) indican que la capacidad de bioadsorción de estas biomásas se debe a la potencial cantidad de compuestos orgánicos capaces de secuestrar y/o intercambiar iones metálicos, entre los cuales destacan: taninos, polialginatos, peptidoglucanos, polisacáridos, glicoproteínas, fucanoides, compuestos heterocíclicos y flavonoides, en los cuales los centros atrayentes de cationes son los grupos funcionales amino, hidroxilo, carboxilo, fosfato, sulfhídricos, conocidos por su potencial nucleófilo.

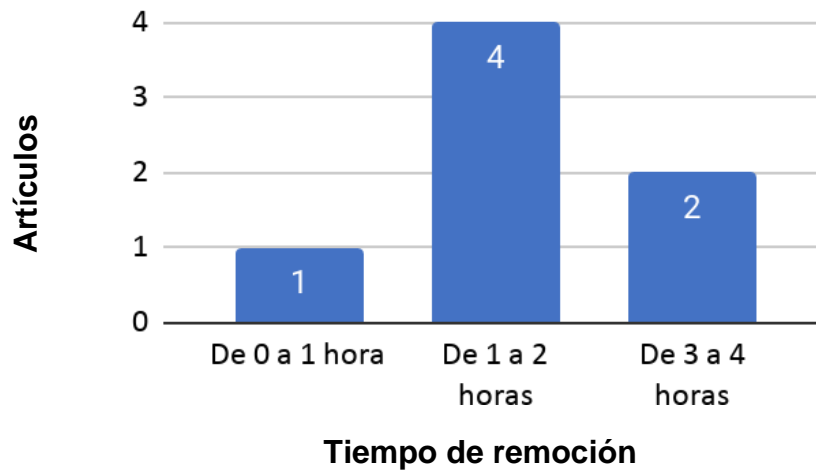
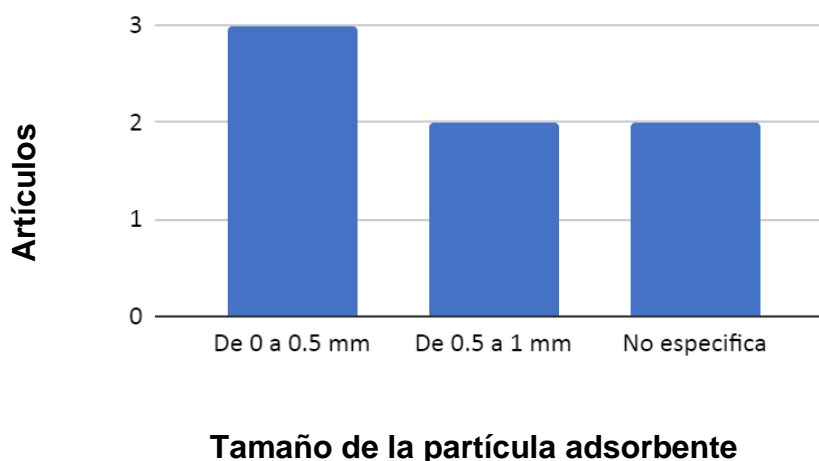


Figura 09: Artículos según el tiempo de equilibrio de adsorción

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el tiempo de remoción es un parámetro muy importante en la bioadsorción de metales pesados, los que tienen mayor remoción son los que han tenido un tiempo de 1 a 2 horas, mientras que el de menor remoción, en este caso de Vera (2015) utilizando *Saccharum officinarum* (Bagazo de caña), solo se realizó por diez minutos.

Así lo respalda Vizcaíno Y Fuentes (2014) que su modelo es apto para tiempos de residencia de 1 a 2 h dando un porcentaje de remoción mayores al 95 %. Al igual que Pacheco, Pimentel y Roque (2010) mencionan que alcanzado los 90 minutos se logra el equilibrio comprobando una mejor eficiencia.



*Figura 10:* Datos recolectados de diferentes artículos sobre el tamaño del adsorbente

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 9 los artículos que tuvieron mayor remoción de cadmio con un 42.8%, representan un tamaño de partículas pequeñas de 0 mm a 0.5 mm, Vizcaíno Y Fuentes (2014), Chacaltana (2018), mientras que los estudios con un porcentaje de 28.6% con tamaño de partícula de 0.5 a 1 mm son los que menos han utilizado los autores, debido a su baja eficiencia de remoción. (Vera, 2015).

Chacaltana (2018) la mayor parte de las partículas de la borra de café poseen un tamaño entre 0.420 y 0.850 mm, a pesar que el café molido fino tiende a tener un mayor porcentaje de partículas menores a 0.420 mm, en este caso obtuvieron un valor menor debido al procedimiento de obtención del café soluble, su distribución porcentual está relacionado al rendimiento que la biomasa tiene y al método empleado para la extracción del líquido.

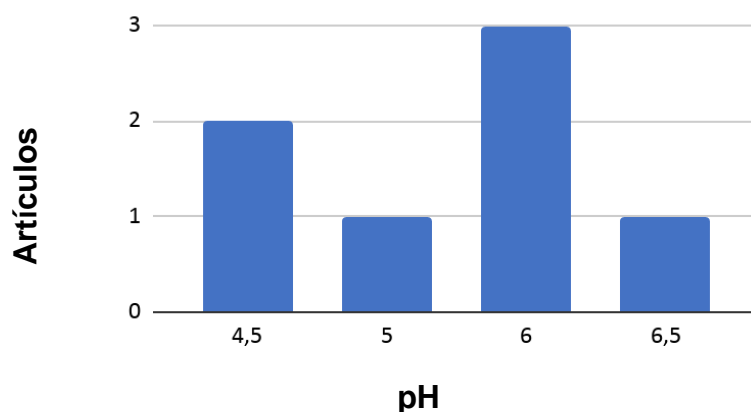


Figura 11: Datos de pH de metal cadmio

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se observa que el pH 6 ha sido el más estudiado seguido del pH 4.5, y los menos estudiados son el pH 5 y 6.5 por lo cual estos valores son muy variados y no se puede definir con claridad.

Skousen y Ziemkiewicz (como se citó en Vizcaíno y Fuentes, 2014) determinaron que los efluentes derivados del proceso de minería tienen características ácidas (pH <4,5 y pH <6,0) con alto potencial de solubilización derivado de las concentraciones de iones metálicos.

Frente a esto Vizcaíno y Fuentes (2014) infieren que la cáscara de naranja y tuna presentaron una mejor capacidad de captación de Cd en ausencia de pretratamiento y a pH 4.5 (99% de remoción) que la biomasa pretratada de *Musa paradisiaca* (90% de remoción) empleada con pH de 6.0 unidades respaldándose en la teoría de Skousen y Ziemkiewicz. Por otro lado, se identificó los parámetros de estudios: el tamaño de la partícula de un rango de 0 a 0.5 mm, tiempo de remoción 3 a 4 horas y un pH 6 son parámetros que determinan la eficiencia de la remoción de cadmio por residuos orgánicos presentados.

**Tabla 7.** Artículos de residuos orgánicos absorbentes del metal cromo

Autor	Residuo adsorbente	Técnica adsorción	de tiem po	Tamaño de partícula	pH	% Remoci ón
Netzahuatl et al. (2015)	<i>Cupressus lusitanica</i> (Corteza de ciprés)	Sistema Discontinuo/ lotes	72 horas	0.5 mm	1.5	99.4%
Lagos (2016)	<i>Coffee arabica</i> (borra de café)	Sistema discontinuo/ batch	4 horas	0.5 mm	5	94.1%
Verdugo (2017)	<i>Citrus reticulata</i> (cáscara de mandarina)	sistema Continuo/ lecho fijo	30 min	0.3 mm	4	54.4%

Fuente: elaboración propia

En la tabla 5 se muestra 3 artículos de residuos adsorbentes de cromo donde los más eficientes superan el 90% de remoción, Netzahuatl et al. (2015) con *Cupressus lusitanica* (Corteza de ciprés) y Lagos (2016) con *Coffee arabica* (borra de café). En cambio, Verdugo (2017) con *Citrus reticulata* (Cáscara de mandarina). Un 54.4% de remoción, siendo un resultado deficiente.

El cromo es un elemento metálico que pertenece al primer periodo de los elementos de transición de la tabla periódica. En medio acuoso puede encontrarse en varios estados de oxidación desde 0 hasta 6+. Sin embargo, las formas más comunes son Cr<sup>3+</sup> y Cr<sup>6+</sup> (Lagos, 2016).

El tiempo de remoción de los artículos que superan el 90 % de remoción, *Cupressus lusitanica* y *Coffee arabica*, han empleado un tiempo elevado 72 horas y 4 horas respectivamente, en cambio *Citrus reticulata* 30 min, esto se infiere a que el tratamiento requirió de más tiempo para obtener una mejor captación de metal.

Con respecto al tamaño de la partícula en los artículos de *Cupressus lusitánica* y *Coffee arabica* tienen una alta eficiencia, han utilizado el mismo tamaño de partícula 0.5 mm, a comparación de *citrus sinensis* que presenta porcentaje inferior debido a que ha empleado un tamaño de partícula más pequeño. Así mismo Lagos (2016) en su ensayo de adsorción determinó los distintos tamaños de grano de la borra de café que se comparó, se observa que no hay mucha diferencia en cuanto a la capacidad de adsorción.

En lo que respecta a pH, Netzahuatl et al (2015) infiere que la velocidad del proceso de eliminación de Cr se ve favorecida por valores bajos de pH 1,5 obteniendo un porcentaje de remoción bastante favorable de 99.4 %. Por lo contrario, García et al (2011) determinó que el pH ideal para cítricos es un valor de 3 a 5. En los estudios de Lagos (2016) y Verdugo (2017) obtuvieron resultados de pH con el mismo rango para la adsorción de cromo.

Se caracterizaron los parámetros de estudio, con respecto al tiempo de remoción en los tres estudios es variado, pero en síntesis el tiempo estimado sería de 3 a 4 horas. Lagos (2016) el tamaño de la partícula que está en un rango de 0.3 a 0.5 mm siendo *Cupressus lusitanica* y *Coffee arabica* con mayor afinidad y mejores resultados de remoción, en pH hay una contrariedad Netzahuatl et al (2015) indica un pH de 1.5 siendo el más eficiente para remover cromo, mientras Lagos (2016) y Verdugo (2017) coinciden que el valor estimado de pH es con un valor de 3 a 5, estos son los indicadores que los residuos orgánicos mayormente frutales sean eficientes para remover metales como el cromo.

**Tabla 8.** Artículos de residuos orgánicos absorbentes del metal cobre

Autor	Residuo adsorbente	Técnica de adsorción	Tiempo	Tamaño de partícula	pH	% Remoción
Khandanlou et al. (2015)	<i>Oryza sativa</i> (Pajilla de arroz)	No identificado	41.96 s	9,93 nm	6	95,03 %
Calero (2012)	<i>Pinus sylvestris</i> (Corteza de pino)	sistema Continuo/ lecho fijo	4 horas 20 min	0.1 mm	5	75,54%
Bustamante (2011)	<i>Coffee arabica</i> (cáscara de café)	Sistema Discontinuo / lotes	4.5 horas	0.841mm	5	59.9 %

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestra 3 artículos de residuos adsorbentes de cobre donde el más eficiente supera el 90% de remoción, Khandanlou et al. (2015) con *Oryza sativa* (Pajilla de arroz). En cambio, Calero (2012) con *Pinus sylvestris* (Corteza de pino) y Bustamante (2011) con *Coffee arabica* (cáscara de café) un 75,54% y 54.4% de remoción respectivamente.

El tiempo de remoción de los artículos que supera el 90 % de remoción, *Oryza sativa* (Pajilla de arroz) han empleado un tiempo reducido de tan solo 41.96 segundos, *Pinussylvestris* (Corteza de pino) y *Coffee arabica* (cáscara de café) un poco más de 4 horas, esto se infiere a que el procedimiento toma menos tiempo para obtener una eficiente remoción de cobre. Así Khandanlou (2015) respalda que el adsorbente estudiado tiene una cinética rápida y que puede atribuirse a la naturaleza hidrofílica de los constituyentes y a la mayor superficie de las nanopartículas.



Con respecto al tamaño de la partícula en el artículo de *Oryza sativa* (Pajilla de arroz) muestra una alta eficiencia, usando un tamaño muy pequeño de 9,93 nm, a comparación de los dos autores Calero (2012) y Bustamante (2011) que utilizaron 0.1 mm y 0.84 mm respectivamente. Así Khandanlou (2015) señala que la dispersión homogénea de las nanopartículas tiene una morfología esférica, así mismo confirma que este tamaño es idóneo para remover altos porcentajes de cobre.

En lo que respecta a pH, los 3 autores coinciden en un rango de 5 a 6 de pH, Bustamante (2011) considera que ese rango es muy bueno para atraer los iones del metal a través de interacciones electrostáticas, sin embargo, es necesario evitar que exista la precipitación de metales pesados.

Se caracterizan los parámetros de estudio con respecto al metal cobre, indicando que el tiempo de remoción debe ser rápido, Khandanlou (2015) manifiesta que la cinética de adsorción es rápida, con un rango de pH 5 a 6, y los tamaños de partícula muy pequeña (nm). Los tres autores coinciden realizar el proceso de absorción a temperatura ambiente.

**Tabla 9.** Artículos de residuos orgánicos absorbentes del metal níquel

Autor	Residuo adsorbente	Técnica de adsorción	Tiempo	Tamaño de partícula	pH	% Remoción
Tejada et al (2018)	<i>Dioscorea alata</i> (cáscara ñame)	Sistema continuo	2:30 horas	0.5 mm	6	99.2
Tejada et al (2018)	<i>Elaeis guineensis</i> (bagazo de palma)	Sistema continuo	2:30 horas	0.5 mm	6	92.58

Fuente: Elaboración propia

En níquel se estudiaron 2 artículos *dioscorea alata* (cáscara ñame) y *elaeis guineensis* (Bagazo de palma) con parámetros similares, tanto en la técnica de adsorción que es sistema continuo, tiempo de remoción 2:30 horas, tamaño de partícula 0.5 mm, pH 6 y temperatura 25°C, y solo varía el valor de porcentaje de

remoción con mínimas diferencias, ambos superando el 90 % ambos residuos son muy eficientes para retener este metal.

Tejada (2018) infiere que el tiempo de saturación en estos estudios incrementa a medida que aumenta el tiempo de contacto entre el agua residual y el adsorbente, ocasionando un mayor porcentaje de remoción, lo cual es causado por la porosidad de las biomasas y así, la disponibilidad de sitios de bioadsorción generada por el incremento en tiempo de residencia. Los grupos funcionales presentes en la superficie del bagazo de palma presentaron mayor afinidad por níquel.

## V. CONCLUSIONES

1. La técnica de adsorción más empleada en los estudios es el sistema discontinuo – proceso batch el 70% de los autores han coincidido que esta técnica es la indicada ya que presenta excelentes ventajas y efectividad para eliminar metales pesados.
2. Los residuos más afines para retener metales pesados son residuos agrícolas, presentan propiedades químicas en su estructura vegetal carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, debido a sus altos contenidos en celulosa, hemicelulosa y lignina, así mismo, los grupos funcionales hidroxilo, carbonilo, aromático posibilitan la captación de iones de metales.
3. Los residuos orgánicos en su mayoría son grandes captadores de metales, pero la efectividad del tratamiento varía de acuerdo a los parámetros de estudio, como la técnica de adsorción, el tiempo de remoción, el tamaño de la partícula, el pH. Los estudios más destacados con más de 90% de remoción, plomo, *Saccharum officinarum* (bagazo de caña), *zea mays* (paja de maíz), *citrus sinensis* (cáscara de naranja), cadmio, *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Leucaena leucocephala* (Guaje), cromo, *Cupressus lusitanica* (Corteza de ciprés) y *Coffee arabica* (borra de café), cobre, *Oryza sativa* (Pajilla de arroz), níquel, *Dioscorea alata* (cáscara ñame) y *Elaeis guineensis* (bagazo de palma).

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Desarrollar investigaciones con nuevas especies vegetales con modificación química para mejorar sus grupos funcionales del residuo y generar mayor capacidad de adsorción.
2. Realizar un estudio donde se evalúe la factibilidad económica del método de la adsorción aplicado en una empresa o industria dando un valor agregado a los frutos cítricos y el aprovechamiento de sus propiedades.
3. Se recomienda realizar estudios con residuos orgánicos y observar el comportamiento como bio-adsorbente para remover algún tipo de contaminante en la industria textil.
4. Investigar un método de recuperación de los metales pesados capturado por los residuos bio-adsorbentes o proponer una disposición final o aprovechamiento adecuado sin generar impactos significativos al ambiente.

## REFERENCIAS

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Plomo. [En línea]. Estados Unidos: 2007. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en:

<https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/esphs13.pdf>

ALVARADO Ana Maria Y GOMES Denise. Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de *musa sapientum* (banano) utilizadas como filtro. Tesis (Licenciatura en química y farmacia). Estados Unidos: Universidad de el Salvador, 2007. Disponible en:

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5104/1/TESIS%20COMPLETA.pdf>

BUSTAMANTE Elena. Adsorción de metales pesados en residuos de café modificados químicamente. [En línea]. México: 2011. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/2323/1/1080223849.pdf>

CHÁVEZ, Álvaro y RODRÍGUEZ, Alejandra. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. [En línea]. Colombia: 2016. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633579>

CASTRO Pastor. Uso de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) maduro deshidratado (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas. Tesis (Maestría en impactos ambientales). Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2015. Disponible en:

[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano\\_Dr.%20Castro.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano_Dr.%20Castro.pdf)

CHACALTANA Gianluigi. Uso de borra de café como bioadsorbente para la remoción de cadmio y plomo disuelto en el agua del río Añasmayo sector la perla-Huaral. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2018. Disponible en:

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18614>

CALERO M, Blázquez G, Hernáinz F, Ronda A, Martín M. Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho de fijo: Optimización de las variables del proceso. [En línea]. España: 2012. [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268451/356005>

DORREGARAY, Hyilda. Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cáscaras de la fruta piña (*Ananas comosus*) para remover metales pesados ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) desde soluciones acuosas. Tesis (Título profesional de Ingeniero Químico Industrial). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4933/Dorregaray%20De%20La%20Cruz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GUTIERREZ, Susana. Estudio de la bioadsorción de cadmio y plomo con biomasa de *Serratia marcescens* M8a- 2T, a nivel de laboratorio. [En línea]. Perú: 2015. [Fecha de consulta: 05 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4126>

GUZMAN Isaza. Effect-of lead on imbibition, germination, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L. [En línea]. Cuba: 2013. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/114/472>

GUO Chunbin, ZOU Jingjing, YANG Jianlin, WANG Kehan, SONG Shiyu. Surface characterization of maize-straw-derived biochar and their sorption mechanism for  $\text{Pb}^{2+}$  and methylene blue. [En línea]. Qatar: 2020. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0238105>

HENRÍQUEZ, Elena y ZEPEDA, María. Preparación de un proyecto de investigación. [En línea]. Chile: 2003. [Fecha de consulta: 26 de junio del 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/cienf/v9n2/art03.pdf>

HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. [En línea]. México: 2014. [Fecha de consulta: 20 de junio del 2020]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

JUNKAI Gao, YU Liu, XUEBIN Li, MOUYUAN Yang, JINBAO Wang y YAN Chen.

A promising and cost-effective biochar adsorbent derived from jujube pit for the removal of Pb(II) from aqueous solution. [En línea]. China: 2020. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-64191-1>

KHANDANLOU Roshanak, MANSOR Ahmad, MASOUMI Hamid, KAMYAR Shameli, MAHIRAN Basri, KATAYOON Kalantari. Rapid Adsorption of Copper(II) and Lead(II) by Rice Straw/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite: Optimization, Equilibrium Isotherms, and Adsorption Kinetics Study. [En línea]. Alemania: 2015. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0120264>

LAVADO, Carmencita y ORÉ, Franklin. Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (*Zea mays*). [En línea]. Perú: 2016. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a03v82n4.pdf>

LOPEZ, Fernando. El análisis de contenido como método de investigación. [En línea]. Huelva: 2009. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2020]. Disponible en: <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/1912>

LARA José, TEJADA Candelaria, VILLABONA Ángel y ARRIETA Alfonso, GRANADOS Clemente. Adsorption of lead and cadmium in continuous of fixed bed on cocoa waste. [En línea]. Colombia: 2016. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342050982010.pdf>

LAGOS Lesly. Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. Tesis (Título de Licenciado en Química). Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6727>

MINAM, Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua, decreto supremo N°015-2015- MINAM. [En línea]. Perú: 2015. [Fecha de consulta: 05 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

MONTES Ángel y MONTES Alberto. Guía para proyectos de investigación. [En línea]. Ecuador: 2014. [Fecha de consulta: 24 de junio del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5968342>

MUKUL Cima, ABDELLAOUI Youness, ABATAL Mohamed, VARGAS Joel, SANTIAGO Arlette, BARRO Jesus y ZAMBRANO Alberto. Eco-Efficient Biosorbent Based on *Leucaena leucocephala* Residues for the Simultaneous Removal of Pb (II) and Cd(II) Ions from Water System: Sorption and Mechanism. [En línea]. México: 2019. [Fecha de consulta: 8 de octubre del 2020].

Disponible en:

<http://downloads.hindawi.com/journals/bca/2019/2814047.pdf>

MEDELLÍN Nahum, HERNÁNDEZ Miriam, SALAZAR Jacob, LABRADA Gladis, ARAGÓN Antonio. Bioadsorción de plomo (ii) presente en solución acuosa sobre residuos de fibras naturales procedentes de la industria ixtlera (*agave lechuguilla* y *yucca carnerosana* (trel.) mckelvey). Revista Internacional de Contaminación Ambiental [En línea]. Marzo-Abril 2016, n° 2 [Fecha de consulta: 14 de octubre del 2020]. Disponible en:

<http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.02.08/466>

NETZAHUATL Alma, CRISTIANI María del Carmen, CRISTIANI Eliseo. Chromium Biosorption from Cr (VI) Aqueous Solutions by *Cupressus lusitanica* Bark: Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies. [En línea]. Canadá: 2015. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0137086>

ORÉ Franklin, LAVADO Carmencita, BENDEZÚ Salvador. Biosorción de Pb (ii) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). [En línea]. Perú: 2015. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n2/a05v81n2.pdf>



PACHECO, Myriam, PIMENTEL, Jorge y ROQUE, Wilfredo. Cinética de la bioadsorción de iones cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café (*Coffea arabica* L.). [En línea]. 14-agosto 2010. [Fecha de consulta: 28 de abril del 2020]. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/3719/371937618009.pdf>

ISSN: 1810-634X

PADRÓN, Manuel. Evaluación del impacto odorífero en el tratamiento de residuos orgánicos. Tesis (Doctorado en Biociencias y ciencias agroalimentarias). España: Universidad de Córdoba, 2018. Disponible en:

<https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/17590/2018000001851.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

QUIÑONES, Edgar, TEJADA, Candelaria, ARCIA, Cesar y RUIZ, Víctor. Removal of lead and nickel in aqueous solutions using lignocellulosic biomass: A review. [En línea]. Colombia: 2013. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2020]. Disponible en:

<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/922/1116>

REGUANT, Mercedes y MARTÍNEZ, Francesc. Operacionalización de conceptos/variables. [En línea]. España: 2014. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2020].

Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/57883/1/Indicadores-Repositorio.pdf>

SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: Diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. [En línea]. Perú: 2007. [Fecha de consulta: 05 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v13n13/a09v13n13.pdf>

SÁNCHEZ, Marlery y VEGA Juan Carlos. Algunos aspectos teórico-conceptuales sobre el análisis documental y el análisis de información. [En línea]. La Habana Cuba: 2003. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en:

<https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciasdelainformacion/2003/vol34/no2/5.pdf>

SHRIDHAR Bagali, BYCHAPUR Gowrishankar, AASHIS Roy. Optimization, Kinetics, and Equilibrium Studies on the Removal of Lead (II) from an Aqueous Solution Using Banana Pseudostem as an Adsorbent. [En línea]. India: 2017. [Fecha de consulta: 8 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917304332>

SOUSA, Valmi, DRIESSNACK, Martha y COSTA, Isabel. Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. parte 1: diseños de investigación cuantitativa. [En línea]. Estados Unidos: 2007. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en: [https://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es\\_v15n3a22.pdf](https://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es_v15n3a22.pdf)

SUZUKI, Emi, La población mundial seguirán aumentando hasta llegar a casi 10.000 millones de habitantes en 2050. [En línea]. estados unidos: 2016. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/la-poblacion-mundial-seguira-aumentando-hasta-llegar-a-casi-10000-millones-de-habitantes-en-2050>

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y GARCÉS, Luz. Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. [En línea]. Colombia: 2014. [Fecha de consulta: 28 de abril del 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>

TEJADA, Candelaria, MONTIEL, Zaida y ACEVEDO, Diofanor. Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II). [En línea]. Colombia: 2016. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n1/art03.pdf>

TEJADA, Candelaria, HERRERA, Adriana y NUÑEZ, Juan. Removal of lead using residual biomass of orange peel (*Citrus sinensis*) and corncob (*Zea mays*). [En línea]. Colombia: 2016. [Fecha de consulta: 30 de abril del 2020]. Disponible en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/126/92>

TANANTA, Fernando. Determinación de la Concentración de Coliformes Fecales y Totales en el Río Mayo. [En línea]. Perú: 2009. [Fecha de consulta: 12 de junio del 2020]. Disponible en:

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/1055/ITEM%4011458-319.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TEJADA Candelaria, GALLO Jorge, MOSCOTE Jeison, VILLABONA Ángel, ACEVEDO Diofanor. Competitive adsorption of lead and nickel on yam husk and palm bagasse in continuous system. [En línea]. Colombia: 2017. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612018000100052&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612018000100052&lng=en&nrm=iso)

TEJADA Candelaria, VILLABONA Ángel y GARCÉS Luz. Kinetics of Adsorption in Mercury Removal Using Cassava (Manihot esculenta) and Lemon (Citrus limonum) Wastes Modified with Citric Acid. [En línea]. Colombia: 2015. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v19n2/v19n2a03.pdf>

TICONA Laura. Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río Chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina. [En línea]. Perú: 2018. [Fecha de consulta: 3 de octubre del 2020]. Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6884/QUMLative.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VERA Luisa, BERMEJO Daniel, UGUÑA María Fernanda, GARCÍA Nancy, FLORES Maritza y BRAZALES Diana. Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción de  $Cd^{2+}$  y  $Pb^{2+}$  con cáscara de cacao. [En línea]. Ecuador: 2018. [Fecha de consulta: 3 de octubre del 2020]. Disponible en:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n4/0188-4999-rica-34-04-611.pdf>

VERDUGO Jose. Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* var. *Clementina*). [En línea]. Ecuador: 2017. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14249/1/UPS-CT007003.pdf>

VERA Luisa, UGAÑA Maria, GARCIA Nancy, FLORES Maritza, VÁZQUEZ Verónica. Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. [En línea]. Ecuador: 2015. [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/308436/398451>

VIORATO, Nancy y REYES, Vianey. La Ética en la Investigación Cualitativa. [En línea]. México: 2018. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2020]. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/cuidarte/article/view/70389/62228>.

VIZCAÍNO Lissette, FUENTES Natalia, GONZÁLEZ Harold. Adsorption of lead (ii) with stems and leaves of *Eichhornia crassipes* in aqueous solution. [En línea]. Colombia: 2017. [Fecha de consulta: 28 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a12b/8d888fcfbfcc3fb12d010007943c1ace1591.pdf>

VIZCAÍNO Lissette, FUENTES Natalia. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. [En línea]. Colombia: 2014. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1


#### Instrumento de recolección de datos

#### Criterios de inclusión y exclusión

Aspectos	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Año de publicación	Artículos publicados durante 2005- 2020	Artículos publicados antes del 2004
Idioma	Castellano-inglés	Italiano, francés, mandarín, Portugues
Lugar de estudio	Dialnet, Scopus Alicia - Concytec,La Referencia, EBSCOhost, SciELO, Science	Wikipedia, Google Académico
Grupo de comparación	Solo los artículos que contengan estudios de tratamiento de agua através del método de adsorción	Otros métodos de estudio: Floculación, precipitación, filtración, sedimentación.
Unidad de estudios	Solo los estudios realizados en aguas residuales contaminadas con plomo, cadmio, cobre, níquel y cromo	Estudios realizados en aguas con otros metales pesados: Arsénico
Tipo de indicadores	Contengan los indicadores: pH, T, tamaño de la partícula del residuo.	Que no contienen los indicadores: pH, T, tamaño de la partícula del residuo

## Anexo 2

### Ficha de análisis de contenido

		<b>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</b>	
<b>TITULO:</b> Remoción de plomo por biomasa residual de cascara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) y zuro de maíz ( <i>Zea mays</i> )			
<b>PAGINAS UTILIZADAS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACION</b>	2016	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b>
<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Cuantitativa - comparativa		<b>AUTOR (ES):</b> Tejada, Herrera, Núñez	
<b>CODIGO:</b>		Español - inglés	
<b>PALABRAS CLAVES:</b>		Adsorción, efluentes	
<b>TIPO DE RESIDUO:</b>		cascara de naranja y zuro de maíz	
<b>TAMANO DE LA PARTICULA:</b>		0,5mm	
<b>PARAMETRO DE MEDICION:</b> (CARACTERIZACION)		pH, T, tiempo de remoción	
<b>CONDICIONES DE OPERACION:</b>		En el trabajo, se estudió la adsorción como proceso para la remoción de plomo en aguas residuales industriales, usando biomasa residual. Se realizó una comparación entre las biomasa utilizadas, variando el tamaño de partícula y el pH, con el fin de determinar las mejores condiciones de adsorción. Para zuro de maíz 0,5mm, para cáscara de naranja 1mm.	
<b>RESULTADOS:</b>		Zuro de maíz con 67,5% de remoción y cascara de naranja con 99,2%, de remoción de plomo.	
<b>CINETICA E ISOTERMAS DE ADSORCION:</b>		Para estudiar la cinética de adsorción, los modelos cinéticos usados fueron pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden, Elovich y difusión intraparticular.	